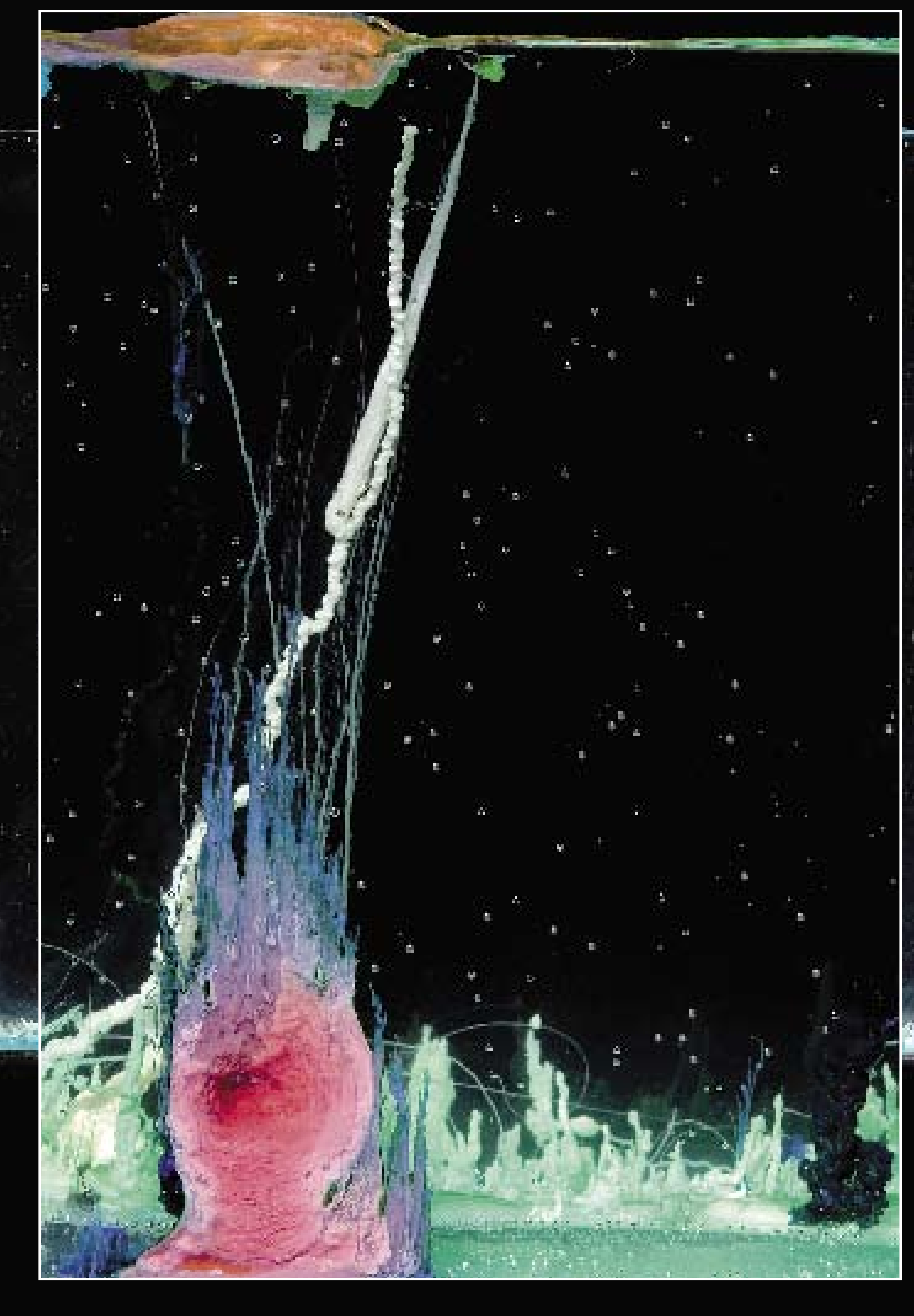
Jardins chim

Richard-Emmanuel Eastes
est professeur de chimie au département d'études cognitives de l'École normale supérieure, à Paris.
atomes.crochus@ens.fr

Clovis Darrigan
est maître de conférences en chimie théorique à l'université de Pau et des pays de l'Adour.
clovis.darrigan@univ-pau.fr

Photos : Stéphane Querbes



CE JARDIN MULTICOLORE *a été obtenu en déposant, dans une solution de silicate de sodium concentrée, un cristal de chlorure de cobalt sur des sels de nickel.*

niques

Au début du XXe siècle, le médecin français Stéphane Leduc a cherché à synthétiser le vivant à l'aide de substances chimiques, obtenant des formes d'une rare variété. Pouvaient-elles être reproduites un siècle plus tard ? Pour *La Recherche*, deux chimistes se sont pris au jeu.

Recréer la vie à l'aide de sels métalliques : il n'en faut pas plus à la presse scientifique anglo-saxonne pour consacrer, entre 1905 et 1913, de nombreuses colonnes à Stéphane Leduc. Ce professeur de physique médicale est un véritable touche-à-tout. Depuis le début de sa carrière, il a mené des travaux de bactériologie, travaillé sur les effets des courants électriques sur l'organisme, exploré le rôle thérapeutique des ions… Au début du XXe siècle, voilà qu'il développe une théorie séduisante : il est convaincu que la vie est née à la faveur de rencontres entre substances chimiques minérales. Dans son laboratoire de l'école de médecine de Nantes, il tente donc d'imiter le vivant.

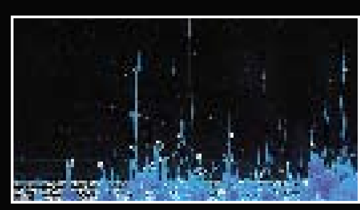
En déposant des sels métalliques dans des solutions de carbonate de potassium, l'« *éminent médecin français* », comme l'appelle alors le *Scientific American*, obtient des cellules artificielles « *plus vraies que nature* ». Elles sont entourées d'une membrane semi-perméable (ou osmotique) qui laisse entrer l'eau. Du coup, les cellules grossissent à vue d'œil, pouvant atteindre plusieurs centimètres. « *Le plus souvent* […], explique Leduc, *la première cellule donne naissance à une seconde* […], *celle-ci à une troisième et ainsi de suite, donnant un ensemble de cavités cellulaires microscopiques séparées par des cloisons osmotiques.* » Une structure analogue, selon le scientifique, à celle qui constitue les êtres vivants. « *Des millions de formes éphémères ont dû ainsi se former pour donner la nature actuelle.* »

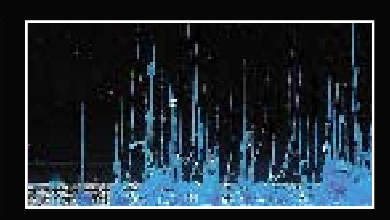
Pour le prouver, Leduc s'applique à mélanger toutes sortes de sels avec des solutions variées. Ses créations prennent des allures de cèpes, de pousses dotées de « bourgeons », d'amibes. « *Il n'y a, je crois, aucun spectacle plus extraordinaire et plus éclairant que celui d'une croissance osmotique* », s'enthousiasme un ancien membre de la Société royale de médecine, W. Deane Butcher, dans sa préface au livre de Leduc *The Mechanism of Life*. « *Elles imitent les formes, la couleur, la texture et même la structure microscopique d'une croissance organique, de manière si parfaite que cela trompe les élus mêmes.* »

De fait, pour beaucoup, Leduc éclaire la nature et l'origine de la vie. « [Ses] *modèles*, écrit Evelyn Fox Keller dans son livre *Expliquer la vie, répondent à un besoin largement ressenti à l'époque* […] : *ils démontrent que des formes complexes peuvent être engendrées par des processus physiques et chimiques bien identifiés.* »

Mais ses travaux sont rapidement contestés. Dès 1907, Henri Bergson s'oppose à Leduc dans son *Évolution créatrice*. Vingt ans plus tard, Édouard Leroy, du Collège de France, écrit au sujet de ses théories : « *On n'a pas imité la vie, même de loin.* […] *Les effets d'osmose* [n'ont] *guère plus de signification dans le problème* [de la naissance de la vie] *que les fleurs ou ramures de glace dessinées sur les carreaux d'une* ▸







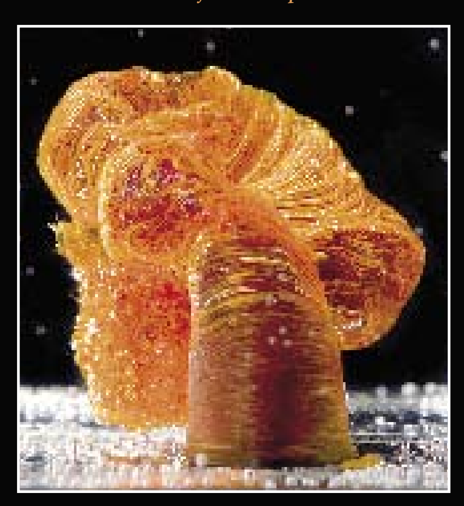
QUELQUES DIZAINES DE SECONDES *séparent ces trois clichés montrant l'expansion de filaments, nés de cristaux de sulfate de cuivre.*

fenêtre, un jour d'hiver. » Les idées de Leduc sont ensuite balayées par de nouvelles connaissances sur les origines de la vie, issues de la chimie, de l'astronomie et de la génétique. Ne reste de lui que d'étranges jardins chimiques, photographiés en noir et blanc.

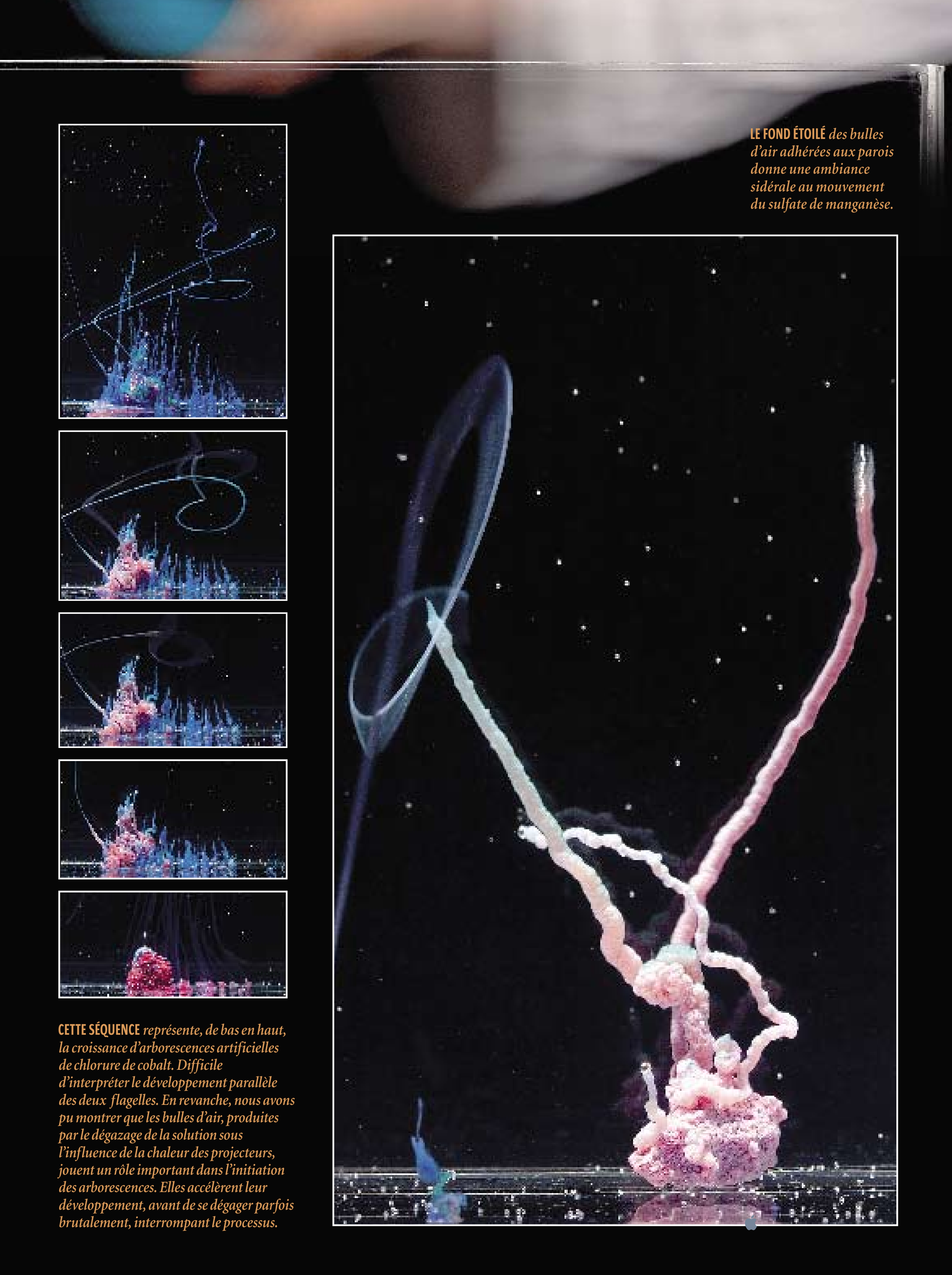
Mercredi 21 juin 2006

Dans un laboratoire de l'université de Pau, nous nous apprêtons à reproduire, près d'un siècle plus tard, les expériences de Leduc. L'homme

CES EXCROISSANCES EXUBÉRANTES, *qui se développent avec une rapidité inégalée, sont particulièrement caractéristiques du chlorure de fer. La croissance peut se faire par le bas sous forme de plissements ou par le haut, en grappes, donnant naissance aux formes les plus évocatrices.*







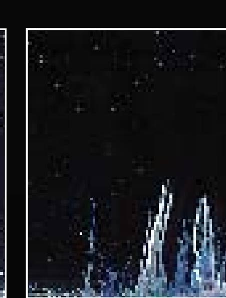
LE FOND ÉTOILÉ *des bulles d'air adhérées aux parois donne une ambiance sidérale au mouvement du sulfate de manganèse.*

CETTE SÉQUENCE *représente, de bas en haut, la croissance d'arborescences artificielles de chlorure de cobalt. Difficile d'interpréter le développement parallèle des deux flagelles. En revanche, nous avons pu montrer que les bulles d'air, produites par le dégazage de la solution sous l'influence de la chaleur des projecteurs, jouent un rôle important dans l'initiation des arborescences. Elles accélèrent leur développement, avant de se dégager parfois brutalement, interrompant le processus.*



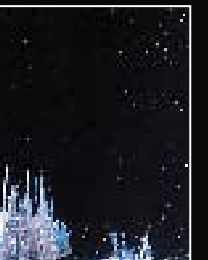






LES ARBORESCENCES *deviennent parfois des écrins magnifiques pour les bulles, serties de filaments.*

a laissé peu d'indications sur son travail. Pour toute documentation, nous nous reposons sur sa *Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées,* publiée en 1910.
Leduc y raconte la façon dont il a caractérisé ses premières cellules osmotiques. C'est à cette expérience que nous nous attelons. Elle consiste à introduire dans une solution mère, saturée en silicate de sodium, un sel métallique tel que du chlorure de calcium. Nous choisissons d'utiliser le sel sous sa forme amorphe – Leduc emploie le terme « *fondu* » – que nous obtenons en chauffant le produit commercial hydraté jusqu'à sa fusion vers 770 °C. La mise au point de la solution saturée, en revanche, est plus ardue : la notion de saturation, signée Leduc, nous paraît floue. Ses recettes manquent de la précision à laquelle le chimiste d'aujourd'hui est habitué. Quant aux unités, elles ne nous évoquent parfois plus grand-chose.
Nous décidons de faire plusieurs essais. Nous introduisons des sels dans une solution saturée : elle est trop visqueuse, et la croissance des cellules se bloque. Dans une solution diluée dix fois, des cellules apparaissent… et s'affaissent lamentablement. Finalement, nous optons pour une solution saturée diluée cinq fois et obtenons de belles cellules artificielles. Éphémères, elles finissent par se percer, donnant naissance à des arborescences étonnantes. Nous sommes, hélas, loin






TRENTE MINUTES *séparent le premier cliché du dernier. Ce jardin chimique a été obtenu par l'utilisation d'un mélange de sels de cuivre, cobalt et manganèse dans une solution de silicate de sodium. Extrêmement corrosive, cette dernière ne séjourne pas dans un récipient en verre sans y laisser de traces. Laissée à l'air libre, elle absorbe le dioxyde de carbone et perd ses propriétés, ce qui oblige l'expérimentateur à préparer la solution juste avant utilisation.*

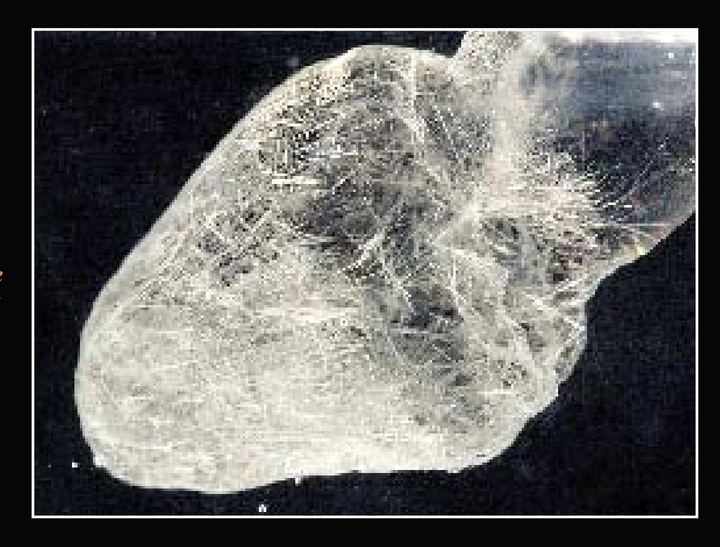
TOUTES LES VARIANTES DE COULEURS ET DE FORMES *semblent pouvoir être obtenues par l'utilisation du chlorure de cobalt, dont les degrés d'oxydation et le taux d'hydratation contrôlent les teintes. Un tel jardin peut être conservé pendant des semaines à condition que le récipient soit disposé à l'abri des vibrations.*

LES ARBORESCENCES ORANGÉES *du chlorure de fer se développent plus rapidement que celles des autres substances. Ce sel doit donc être introduit en dernier.*

des « cèpes » et des « bourgeons ». Ce qui nous laisse penser que Leduc a acquis, au cours de deux décennies de travail, une maîtrise prodigieuse des substances chimiques. Il nous sera difficile d'acquérir cette sensibilité en quelques jours, comme il serait impossible à un peintre débutant de reproduire la finesse d'une toile d'Ingres.

Jeudi 22 juin 2006

Nous décidons d'explorer une deuxième facette du travail de Leduc : les arborescences, sortes de tiges qui se développent verticalement. Afin



CETTE CELLULE OSMOTIQUE *a été produite par l'introduction d'un morceau de chlorure de calcium fondu dans une solution très diluée de phosphate et de carbonate de sodium. La cellule croît très lentement, sa membrane semi-perméable laissant entrer l'eau, sous l'influence d'un phénomène appelé osmose. La pression interne augmente, la membrane se rompt et se reforme aussitôt un peu plus loin.*

d'obtenir une grande variété de formes et de couleurs, nous prenons le parti de tester nos substances dans toutes les combinaisons possibles. Nous constituons plusieurs variantes de la solution initiale en lui ajoutant les adjuvants minéraux préconisés par Leduc. Puis introduisons dans chacune d'elles des sels métalliques : chlorures de cobalt, de fer et de nickel, sulfates de cuivre et de manganèse, nitrate et acétate de cuivre... Nous obtenons toute une gamme de résultats, du bourgeon noir et rabougri au chlorure de cobalt multicolore, en passant par le chlorure de fer d'un orange flamboyant.

Leduc avait parfaitement compris le phénomène gouvernant la formation des cellules et des arborescences. Après introduction du sel métallique dans la solution, il se dissout et forme une membrane en entrant en contact avec le silicate. La cellule primordiale est née, minuscule. Semi-perméable, sa membrane ne laisse passer que l'eau. Elle délimite donc deux domaines : une solution intérieure contenant le sel dissous, et une solution extérieure contenant le silicate. Cette différence de composition conduit à un afflux d'eau de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule, à travers la membrane, selon un phénomène dit d'osmose. La pression interne augmente. La membrane de la cellule se rompt puis se reforme aussitôt un peu plus loin. La cellule croît. Si la solution extérieure est très diluée, la cellule reste à peu près sphérique et se développe à peine. Dans les solutions plus concentrées, en revanche, la cellule primordiale donne rapidement naissance à de longs prolongements : des arborescences.

Pourquoi filent-elles presque toujours vers le haut ? Parce que la cellule initiale a tendance à se rompre sur sa partie supérieure. La solution interne est en effet moins dense que la solution externe et a tendance à remonter. En outre, la macrophotographie nous permet de mettre en évidence le rôle des bulles d'air, formées par le dégazage de la solution sous l'influence de la chaleur des projecteurs. Elles accélèrent la croissance des arborescences vers le haut, avant de s'en dégager parfois brutalement, interrompant le processus.

Un paramètre que Leduc contestait, tant il tenait à asseoir la puissance créatrice de la pression osmotique qui, *« de toutes les forces physiques, possède la puissance d'organisation la plus remarquable, les facultés morphogéniques les plus étendues »*.

Vendredi 23 juin 2006

L'essentiel du travail est fait mais des variantes restent à expérimenter : additions de substances étrangères en cours de croissance, superpositions de « couches » de solution mère de différentes concentrations, utilisation de granulés formés par le mélange de différents sels métalliques, entre eux ou avec du sucre en poudre... Nous abandonnons l'idée d'obtenir le moindre cèpe pour nous satisfaire de l'infinie diversité des formes et couleurs auxquelles nous sommes d'ores et déjà parvenus.

Face à ce spectacle éphémère, nous nous interrogeons : que reste-t-il des travaux de Leduc ? Malgré ses erreurs et sa naïveté enthousiaste, nous ne pouvons nous empêcher de revendiquer pour lui une certaine réhabilitation. D'autant qu'en montrant que des formes aussi complexes pouvaient être synthétisées par des mécanismes physico-chimiques élémentaires, il a sans doute contribué à faire avancer la connaissance de la vie.

Pourtant, il reste peu de traces de sa vie scientifique. On trouve son nom dans de récentes études concernant le biomimétisme de matériaux inorganiques, la quête de traces de vie fossiles ou extraterrestres. Avec des conclusions qui ne lui auraient guère plu ! S'appuyant sur ses travaux, des chercheurs ont en effet montré que certaines concrétions, considérées jusqu'ici comme des fossiles, étaient probablement des vestiges de formations minérales osmotiques, d'origine... inerte. **R.-E. E et C. D.**

MODE D'EMPLOI

Pour réaliser des jardins chimiques

Procurez-vous une solution commerciale de silicate de sodium saturée et diluez-la deux fois avec de l'eau distillée, de préférence dégazée. Filtrez-la sur du verre fritté et sous aspiration si elle est troublée par des particules en suspension. Puis, dans les heures qui suivent, versez-la dans un récipient en Plexiglas, sur une hauteur de 10 à 15 centimètres.

Laissez reposer la solution quelques minutes puis introduisez dans cette dernière de petits cristaux de sels métalliques ($CuSO_4$, $Ni(NO_3)_2$, $FeCl_3$, $CoCl_2$, $MnSO_4$), en évitant de les déposer trop près les uns des autres ou de faire bouger le récipient. Les cristaux des kits « jardins chimiques » commercialisés par les fournisseurs de produits chimiques conviennent parfaitement. La nature des contre-ions n'est pas déterminante mais des variantes polymorphes et colorées sont obtenues lorsqu'on les substitue les uns aux autres. Une fois le travail réalisé, contemplez.

